

周福礼,海盼盼,王雪妮.黄河流域绿色发展效率时空演进——基于多周期两阶段DEA模型[J].中国沙漠,2022,42(3): 95-104.

黄河流域绿色发展效率时空演进 ——基于多周期两阶段DEA模型

周福礼,海盼盼,王雪妮

(郑州轻工业大学 经济与管理学院 产业与创新中心,河南 郑州 450001)

摘要: 识别黄河流域绿色发展效率及其时空演进规律,有助于区域产业布局、环境规制与政策制定,进而实现黄河流域生态保护和高质量发展。针对黄河流域异质化发展,结合经济发展和环境治理的区域发展规律,构建多周期两阶段DEA模型(Multi-period two-stage DEA model),通过测算绿色经济效率与绿色创新效率,实现黄河流域省市的绿色发展效率测度,同时借助ArcGIS10.6软件对黄河流域省域绿色发展的时空格局进行了动态演进并分析其发展路径。结果表明:黄河流域空间维度呈现上游较差、中游一般、下游最优的发展不均衡现状;时间维度呈现“W”型波动式上升趋势,但整体一般;存在省份绿色发展水平较高、黄河段城市却较差的发展不一致现象。针对黄河流域省市的各种发展情境,从省市协同治理、政府引导、产业结构、科技研发、税收政策等方面提出了建议。

关键词: 黄河流域;绿色发展效率;动态时空演进;多周期两阶段DEA模型

文章编号: 1000-694X(2022)03-095-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00006

中图分类号: F205

文献标志码: A

0 引言

黄河流域是华夏文明的发源地,是中国历史中经济、社会、文化发展的重要区域。2019年9月18日于郑州召开的黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上,继京津冀协同发展、长江经济带发展、粤港澳大湾区建设、长三角一体化发展战略之后,黄河流域生态保护和高质量发展成为重大国家战略。随着经济的发展和社会的进步,2020年中国GDP比改革开放之初增长了275倍;但几十年来粗放型的生产模式加重了中国的资源成本和环境成本,现在的黄河流域存在严重的生态问题,绿色转型任务紧迫^[1-4]。关键在于将传统的高耗能、高污染发展模式向资源节约型、环境友好型转变,进而提升绿色发展水平,这是国家发展和社会进步的必然趋势,因此绿色发展一直是国内外学者研究的热点^[5-8]。部分学

者分析了绿色发展概念,形成了研究基础和理论支撑;部分文献借助DEA、SBM、SFA等模型^[1,3-4,7-8]构建了效率测度体系,对绿色发展效率与绿色全要素生产率进行衡量,为该领域的研究提供了实证检验;并指出资源和环境问题将成为今后中国经济社会发展的严峻挑战^[9-11]。

为推动黄河流域生态保护和高质量发展重大国家战略稳步实现,学者从黄河流域的绿色发展影响因素、效率测度和发展路径等方面展开研究^[11-14]。何爱平等^[11]对导致黄河流域效率低下的因素进行探索,发现科技进步可以促进绿色发展效率,而经济发展方式、产业结构、对外开放中的不合理因素对绿色发展效率有抑制作用;崔盼盼等^[12]发现黄河流域的生态水平呈中游较低、上游良好、下游居中的格局,高质量发展呈上游落后、中游崛起、下游发达的空间分布。李光勤等^[13]的研究结果显示黄河

收稿日期:2021-12-08; 改回日期:2022-02-06

资助项目:河南省哲学社科规划项目(2020CZH012);河南省科技攻关计划(工业领域)项目(222102210005);河南科技智库调研课题项目(HNKJZK-2022-07B);省属高校基本科研业务费专项(20KYYWF0107,21KYYWF0103);郑州轻工业大学博士启动基金项目(2018BSJJ071);郑州轻工业大学校级青年骨干教师培养对象资助计划项目

作者简介:周福礼(1991—),男,河南洛阳人,博士,讲师,研究生导师,研究方向为区域经济学、黄河流域绿色发展、工业工程、可持续供应链管理。E-mail: fl.zhou@email.zzuli.edu.cn

流域内差异十分明显,呈下游>上游>中游的不均衡发展。大部分研究显示黄河流域绿色发展整体水平不高,且流域内发展水平不均衡。但上述研究大都从黄河流域的省域视角出发,忽略了省市发展不均衡的治理现状,未对黄河流域九省区黄河段市域的绿色发展进行测度,难以在黄河流域省-市两级政府联合治理方面提供一定政策建议支撑。本文在考虑黄河流域异质发展和省市发展不均衡的基础上,系统测度黄河流域省份和重点城市的绿色发展效率。

测度效率所使用的DEA模型是非参数的测算效率方法,应用较多。但传统DEA模型存在较多局限如仅对DMU相对效率的评估、无法衡量产出为负的状况、难以探索效率低下的原因等,现在的学者多采用改进的DEA模型。岳立等^[14]通过Super-SBM模型测算黄河流域的绿色发展效率,发现经济发展和产业结构升级可以显著提高绿色发展效率;周亮等^[8]采用SBM-Undesirable模型、泰尔指数和空间马尔科夫链等方法,对2005—2015年中国285个地级以上城市绿色发展效率时空分异特征及其演变过程进行了测度与刻画。Zhu等^[15]在大数据背景下使用SBM-DEA模型研究了自然资源的投入效率并对中国的自然资源配置和利用效率进行了分析。Sun等^[16]对中国资源型城市的效率和空间分异展开了研究,采取了DEA和Malmquist指数并发现除少数达到优的城市外大多资源型城市的效率都处于一般水平且其技术和生产力水平呈现下降趋势。

模型的选取要符合模型与研究问题同构同态、模型与算法同构同态的原则,学者都根据研究的对象、指标以及侧重点选择相应的测度模型。使用传统单阶段DEA模型存在难以探析低效率真实原因的缺陷,而多阶段模型能更好地识别研究结果与子过程之间的联系;除此之外仅对研究对象进行整体效率的衡量,忽略个别时期或不同时期之间效率的对比是不合理的,虽然可以对其整体效率进行测度和比较,但整体效率并不是汇总每个时期的效率得到的,就可能会使研究结果存在误差。因此,本文在Kao等^[17]的多周期DEA模型与Moon等^[18]的两阶段DEA模型基础上,针对黄河流域经济投入-环境治理的两阶段绿色发展规律,提出改进的多周期两阶段DEA模型(Multi-period two-stage DEA model),实现黄河流域多重效率测度与时空演进特征动态分析。

因此,本文基于黄河流域省份、城市间绿色发展的异质现状,选择省域和市域两个维度,以黄河流域9个省份及省份下的16个重点城市为研究对象。分别从静态和动态、横向和纵向、省域间和市域间,全方位地对其进行测度分析,最后针对实证分析中发现的问题给出合理的解决对策,旨在为省市纵向协同治理和未来研究区域规划提供一定的借鉴。

1 研究设计

1.1 指标选取与样本数据

本文研究黄河流域省份及城市的绿色发展效率,围绕投入和产出指标展开。在相关的研究中,国内学者多选择资源^[13,19-26]、劳动力^[19-20,22-26]和环境污染^[20,22-26]等指标进行测度。国外学者Azapagic^[27]选择了经济、环境、社会中的一些相关指标来构建建筑业与工矿业的绿色发展综合指标;de Oliveira等^[28]从决策过程、执行能力、城市经济、社会生态4个方面构建了城市治理与绿色经济发展评价指标;Smedby等^[29]认为政府是城市的管理者,这一指标在城市实现绿色发展的道路上应该充当重要角色。本文选择了资源^[19-20,22-32]、劳动力^[19-20,22-26]、经济发展^[20,22,24-26]和环境污染^[20,22-26]作为测评黄河流域绿色发展效率的指标,并针对中国国情和发展现状增加了科技创新^[22,24,26]和低碳经济^[22,24,26]两个投入指标进行评测,共有5个投入指标与3个产出指标(表1)。

综合已有的研究并考虑到数据的可得性,本文的样本选择黄河流域沿岸9个省份及省份下的16个城市(上游城市:西宁、银川、石嘴山、兰州、白银、呼和浩特、包头、阿坝;中游城市:西安、延安、运城、吕梁、郑州、洛阳;下游城市:济南、聊城)2012—2020年的面板数据进行绿色发展效率测算。数据来源于历年的《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《环境统计公报》《水资源公报》《国民经济和社会发展统计公报》等。

1.2 多周期两阶段DEA模型的构建

本节构建了测度黄河流域绿色发展效率的多周期两阶段DEA模型^[17-18](Multi-period two-stage DEA model),该模型包括绿色经济效率与绿色创新效率(图1)。

表1 黄河流域绿色发展效率投入产出指标体系

Table 1 Input-output index system of green development efficiency in Yellow River Basin

类别	指标	解释	单位	参考文献
投入指标	资源投入	水资源含农业、工业、居民生活及生态环境补水等	亿 m ³	[13-14,21,30]
		能源消费由历年全社会能源消费量衡量	万吨标准煤	[11,14,20,22,24-26]
	劳动力投入	具体指标为劳动从业人数,由历年全社会从业人数表示	万人	[11,13,20-26]
	创新投入	具体指标为R & D经费支出,由历年全社会R & D内部经费支出计算	亿元	[19-20,23,31]
	低碳经济	以第三产业GDP占全地区GDP比重衡量	%	[2,11,14,23-32]
产出指标	经济发展	地区工业增加值	亿元	[11,14,22-26]
		地区GDP	亿元	[11,14,22-26]
	环境污染	工业废水、SO ₂ 、烟尘、固体废弃物等排放量	万吨	[11,14,22-26]

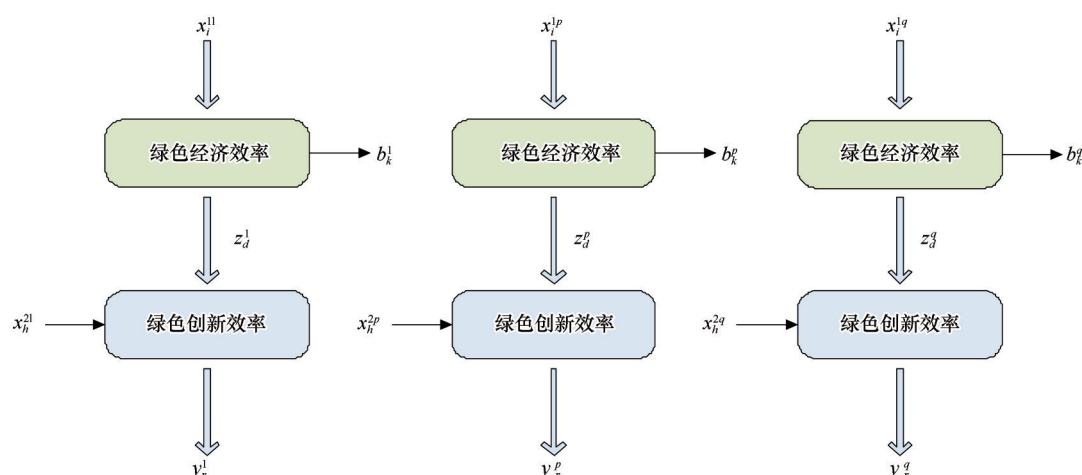


图1 多周期两阶段DEA模型的框架

Fig.1 Framework of multi-period two-stage DEA model

该模型中有 n 个决策单元,第一阶段中每个决策单元的投入 x_{ij}^{lp} 转化为期望产出 z_{dj}^p 和非期望产出 b_{kj}^p ;第二阶段消耗前一阶段的期望产出和其他投入 x_{hj}^{2p} 后产生最终产出 y_{rj}^p 。具体指标与变量如表2所示。

通过修改数据包络分析模型建立了如式(1)——(7)所示的多周期两阶段DEA模型,其中 θ^* 是决策单元 o 的最佳整体效率, θ_1^o 和 θ_2^o 分别是第一和第二阶段的整体效率,同时约束模型(1)的决策单元 j 在每个阶段和周期的最大效率值皆不能超过1。

$$\theta^{o*} = \max \theta_1^o \times \theta_2^o \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \theta_1^o = \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{do}^p - \sum_{k=1}^K t_k b_{ko}^p}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}^{1p}} \quad (2)$$

$$\theta_2^o = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro}^p}{\sum_{d=1}^D w_d z_{do}^p + \sum_{h=1}^H a_h x_{ho}^{2p}} \quad (3)$$

$$\frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}^p - \sum_{k=1}^K t_k b_{kj}^p}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^{1p}} \leq 1; \forall j, \forall p \quad (4)$$

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^p}{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}^p + \sum_{h=1}^H a_h x_{hj}^{2p}} \leq 1; \forall j, \forall p \quad (5)$$

$$\theta_1^o, \theta_2^o \leq 1; \forall j \quad (6)$$

$$v_i, u_r, w_d, t_k, a_h \geq 0; \forall i, r, d, k, h \quad (7)$$

由于第二阶段的投入 $\sum_{h=1}^H a_h x_{h0}^{2p}$ 使得式(1)——(7)成为非线性模型,且不能用线性规划测量。为使非线性模型得到最优解,在式(8)——(12)中增加两组约束条件测量第一阶段效率,其中 θ_1^{o+} 表示第一阶段决策单元 o 的最大整体效率。

$$\theta_1^{o+} = \max \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{do}^p - \sum_{k=1}^K t_k b_{ko}^p}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}^{1p}} \quad (8)$$

表2 指标合集与解释

Table 2 Index collection and interpretation

指标、集合与变量	解释
$j \in \{1, 2, 3, \dots, n\}$	第 j 个决策单元
$i \in \{1, 2, 3, \dots, m\}$	第一阶段的第 i 次投入
$d \in \{1, 2, 3, \dots, D\}$	第一阶段的第 d 次期望产出
$k \in \{1, 2, 3, \dots, K\}$	第一阶段的第 k 次非期望产出
$h \in \{1, 2, 3, \dots, H\}$	第二阶段的第 h 次投入
$r \in \{1, 2, 3, \dots, s\}$	第二阶段的第 r 次产出
$p \in \{1, 2, 3, \dots, q\}$	决策单元所属的 p 周期
x_{ij}^{1p}	决策单元 j 在第一阶段 p 周期的第 i 次投入量
z_{dj}^p	决策单元 j 在第一阶段 p 周期第 d 次期望产出量
b_{kj}^p	决策单元 j 在第一阶段 p 周期第 k 次非期望产出量
x_{hj}^{2p}	决策单元 j 在第二阶段 p 周期第 h 次投入量
y_{rj}^p	决策单元 j 在第二阶段 p 周期第 r 次最终产出量
v_i	第 i 次投入的权重
w_d	第 d 次期望产出的权重
p_k	第一阶段第 k 次非期望产出的权重
q_h	第二阶段第 h 次投入的权重
u_r	第二阶段第 r 次最终产出的权重

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^m v_i d_{io}^1 = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}^p - \sum_{k=1}^K t_k b_{kj}^p - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^{1p} \leq 0; \quad \forall p, \forall j, \quad (10)$$

$$\sum_{r=1}^S u_r y_{rj}^p - \sum_{h=1}^H a_h x_{hj}^{2p} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj}^p \leq 0; \quad \forall p, \forall j, \quad (11)$$

$$v_i, u_r, w_d, t_k, a_h \geq 0; \quad \forall i, r, d, k, h \quad (12)$$

第一阶段的最佳效率 $\theta_1^{o*} \in [0, \theta_1^{o+}]$, 首先使用 $\hat{\theta}_1^o = \hat{\theta}_1^{o+} - k\Delta\varepsilon$ 估计, 其中 $\Delta\varepsilon$ 指步长, k 为迭代指数, k 为最大整数且该整数小于第一阶段效率除以步长。因此, $k = \theta_1^{o+} / \Delta\varepsilon$, k 的值从 0 增加到可能的最大值以便达到整体效率的最佳值。即 $\theta^{o*} = \max_k \hat{\theta}^{o,k}$, 其中 $\hat{\theta}^{o,k}$ 是用迭代指数 k 估计的总效率。 $v_i^*, u_r^*, w_d^*, t_k^*, a_h^*$ 表示从式(8)—(12)获得的最优解, θ_1^{ip} 表示决策单元 j 在第一阶段 p 周期的效率, 如式(13)所示。

$$\theta_1^{ip} = \frac{\sum_{d=1}^D w_d^* z_{dj}^p - \sum_{k=1}^K t_k^* b_{kj}^p}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij}^{1p}} \quad (13)$$

通过式(14)测量第二阶段的效率。

$$\hat{\theta}_2^{op} = \frac{\sum_{r=1}^S u_r^* y_{ro}^p}{\sum_{d=1}^D w_d^* z_{do}^p + \sum_{h=1}^H a_h^* x_{ho}^{2p}} \quad (14)$$

最后, 单个周期的整体效率 $\hat{\theta}^{op}$ 由 $\hat{\theta}^{op} = \hat{\theta}_1^{op} \times \hat{\theta}_2^{op}$ 决定, 在更新 $\hat{\theta}^{op} = \hat{\theta}_1^{o+} - k\Delta\varepsilon$ 后, 用 $\theta_1^{o*} = \max_k \hat{\theta}_1^{o,k}$ 选出最优效率。

2 结果与分析

2.1 描述性统计与实证结果

对收集到的数据进行整理并运用 MaxDEA Pro 7.16.0 软件测算黄河流域 9 个省份 16 个城市 2012—2020 年的绿色发展效率值, 测算出的效率值为 0—1, 当效率值等于 1 时表明决策单元 DEA 有效(表 3)。

从黄河流域的整体绿色发展状况来看, 2012—2020 年呈波动上升的发展趋势, 在 2012—2016 年逐渐上升, 2016—2017 年略有下降, 2017—2019 年再次上升, 受新冠疫情的影响, 2020 年又下降了 1.89%。本文与封思洁等^[21]以及李光勤等^[13]皆认为黄河下游地区的绿色发展水平最好, 但与崔盼盼等^[12]上游良好、中游凹陷、下游居中研究结果不同, 本文和封思洁等^[21]的研究都发现黄河流域的绿色发展呈现上游较差、中游一般、下游最好的空间分布, 可能是由于本文中不仅考虑了绿色创新效率还考虑了绿色经济效率的缘故。与李光勤等^[13]和封思洁等^[21]的研究相比, 本文多了对 2018—2020 年的绿色发展效率测评, 并发现运行出的效率值与其结论中的“V”字型趋势不同, 本文的研究呈“W”型动态演变。同长江流域绿色发展水平相比, 黄磊等^[1]发现长江流域上、中、下游的绿色发展效率呈递减趋势, 长三角的绿色生态治理规划较早, 其建设性的经验有助于黄河流域的绿色可持续发展。

从区域差异的视角来看, 黄河流域上游地区中只有四川省的历年绿色发展效率较高, 其余省份的历年绿色发展效率都较低, 青海、甘肃和宁夏分别是 0.2354、0.2773、0.2068, 处于较低水平。由于选取的指标有差异, 研究结果与崔盼盼等^[12]的结论不尽相同, 本文认为上游地区因经济发展能力有限却承载了大量高污染高耗能企业, 导致工业污染物排放过量且难以处置, 且政府规划管控的力度不足, 因

表 3 黄河流域 2012—2020 年各省市绿色发展效率

Table 3 Green development efficiency in the Yellow River Basin from 2012 to 2020

	地区	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年	均值	排名
省(区)	青海	0.1377	0.1419	0.1774	0.2253	0.1881	0.1810	0.2357	0.3645	0.4670	0.2354	8
	甘肃	0.2231	0.2255	0.2346	0.2568	0.3999	0.2021	0.2144	0.3610	0.3781	0.2773	7
	四川	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9181	0.8128	1.0000	1.0000	1.0000	0.9701	3
	宁夏	0.1337	0.1320	0.1591	0.2096	0.2256	0.1571	0.2261	0.2781	0.3401	0.2068	9
	内蒙古	0.5761	0.5681	0.5526	0.6119	0.5219	0.6084	0.5936	0.6791	0.5589	0.5856	5
	陕西	0.6977	0.7105	0.7083	0.7458	0.7177	0.6670	0.7142	0.7872	0.5699	0.7020	4
	山西	0.5418	0.4674	0.4042	0.3641	0.4509	0.4004	0.4022	0.4504	0.4967	0.4420	6
	河南	1.0000	0.8340	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9816	2
	山东	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1
	均值	0.5900	0.5644	0.5818	0.6015	0.6025	0.5588	0.5985	0.6578	0.6456	0.6001	—
城市	西宁	0.1593	0.1518	0.1899	0.3005	0.3049	0.2827	0.3131	0.4675	0.7728	0.3269	13
	兰州	0.2062	0.1996	0.2138	0.2747	0.3054	0.2775	0.2848	0.4228	0.4901	0.2972	14
	白银	1.0000	1.0000	0.5107	0.5448	0.6588	1.0000	0.7010	1.0000	1.0000	0.8239	4
	阿坝	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1
	银川	0.4581	0.4332	0.4823	0.4963	0.4848	0.4523	0.6650	0.7383	0.8308	0.5601	7
	石嘴山	0.3500	0.3277	0.5187	0.4689	0.3073	0.3929	0.4893	0.7794	0.7419	0.4862	9
	呼和浩特	0.2182	0.2106	0.1992	0.2864	0.3128	0.2961	0.3156	0.4503	0.6710	0.3289	12
	包头	0.1936	0.1861	0.1983	0.2324	0.2315	0.2456	0.3108	0.4014	0.5065	0.2785	15
	西安	0.2589	0.3209	0.5667	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.8022	0.7721	5
	延安	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.4745	0.4667	1.0000	1.0000	1.0000	0.8824	3
	运城	0.4271	0.4261	0.4247	0.5060	0.6096	0.3824	0.4180	0.4955	0.5327	0.4691	10
	吕梁	1.0000	1.0000	0.7749	1.0000	0.8609	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9595	2
	郑州	0.3275	0.2963	0.4635	0.5898	1.0000	1.0000	0.6181	0.9428	0.6175	0.6506	6
	洛阳	0.1462	0.1440	0.1659	0.1977	0.2464	0.2258	0.3537	0.4804	0.4013	0.2624	16
	济南	0.3111	0.2593	0.3736	0.5065	0.6055	0.6588	0.8549	0.8210	0.5075	0.5442	8
	聊城	0.3383	0.3316	0.3650	0.4249	0.3485	0.5149	0.5868	0.2650	0.3550	0.3922	11
	均值	0.4622	0.4554	0.4655	0.5518	0.5469	0.5747	0.6194	0.7040	0.7018	0.5646	—

经 MaxDEA Pro 7.16.0 软件运行整理得出。

此这些省份要加快产业转型升级和对环境的合理规制。黄河流域中游仅河南省历年的绿色发展效率达到了 DEA 有效,而山西省的均值相对较低(0.4420),因其煤矿资源丰富,属于资源型省份,在 2012 年之前以牺牲生态环境为代价发展经济,绿色发展水平持续处于低迷的状态。黄河下游地区经济较为发达且重视经济转型发展与生态保护,如山东省的八大发展战略、创新驱动发展战略、新旧动能转换战略等,历年来的绿色发展效率均达到了

DEA 有效。

值得关注的是河南省和山东省虽然省份的效率值达到了最优,但城市的效率值却十分低下,作为省会城市的济南和郑州历年效率均值还相对较高,分别是 0.5442 和 0.6506,而洛阳和聊城的效率均值却仅有 0.2624 和 0.3922。因此中小城市在发展中问题也不容小觑,省份要在引领城市发展的同时重视生态问题和产业结构调整。提升中上游绿色发展效率对于提高全域的绿色发展水平起关键作

用,所以政府要在保持经济发展的同时加强对于中上游地区的环境保护,落实十四五规划中推动绿色发展、提升生态系统质量和稳定性、持续改善环境质量、加快发展方式绿色转型等。

2.2 效率时空演进

根据效率值将省市的绿色发展水平分为4个等级,效率值<0.6时,绿色发展较差;0.6<效率值<0.8时,绿色发展一般;0.8<效率值<1时,绿色发展较好;效率值=1时,绿色发展最好。

整体看,2020年黄河流域地区省市的绿色发展效率均处于一般状态,省份间呈现出上游较差、中

游一般、下游最好的空间布局,大部分中小城市有可提升的空间,有7个省和市达到了绿色发展最好,分别是四川、河南、山东省和白银、阿坝、延安、吕梁市(表4)。其中作为上游地区绿色发展的模范省份四川是黄河上游重要的水源涵养地和补给区,2020年四川、甘肃、青海三省政协及三省交界区的阿坝州、甘南州、果洛州、黄南州召开“川甘青黄河上游地区发展研讨会”,强调要持续助推黄河上游水源涵养区生态保护高质量发展。阿坝州在2019年提出全面构建一屏四带、全域生态发展新格局,全面建成国家生态建设示范区,对生态与建设科学管控,有效治理。

表 4 2020 年各省市绿色发展效率
Table 4 Green development efficiency of provinces and cities in 2020

项目	上游								
	青海	甘肃	四川	宁夏	内蒙古				
第一阶段效率	0.2248	0.1240	1.0000	0.1474	0.2809				
第二阶段效率	1.0000	0.9139	1.0000	0.7715	1.0000				
总效率	0.4670	0.3781	1.0000	0.3401	0.5589				
绿色发展水平	较差	较差	最好	较差	较差				
项目	西宁	兰州	白银	阿坝	银川	石嘴山	呼和浩特	包头	
第一阶段效率	1.0000	0.5964	1.0000	1.0000	1.0000	0.8705	0.5166	0.5316	
第二阶段效率	0.6639	0.6190	1.0000	1.0000	0.7202	0.8265	1.0000	0.6848	
总效率	0.7728	0.4901	1.0000	1.0000	0.8308	0.7419	0.6710	0.5065	
绿色发展水平	一般	较差	最好	最好	较好	一般	一般	较差	
项目	中游					下游		全域均值	
	陕西	山西		河南		山东			
第一阶段效率	0.5014	0.3087		1.0000		1.0000		0.5097	
第二阶段效率	0.8505	0.8603		1.0000		1.0000		0.9329	
总效率	0.5699	0.4967		1.0000		1.0000		0.6456	
绿色发展水平	较差	较差		最好		最好		一般	
项目	西安	延安	运城	吕梁	郑州	洛阳	济南	聊城	均值
第一阶段效率	0.6541	1.0000	0.4223	1.0000	0.7235	0.4439	0.4661	0.2471	0.7235
第二阶段效率	0.9732	1.0000	0.8438	1.0000	0.8183	0.6152	0.7563	0.7675	0.8183
总效率	0.8022	1.0000	0.5327	1.0000	0.7018	0.4013	0.5075	0.3550	0.7018
绿色发展水平	较好	最好	较差	最好	一般	较差	较差	较差	一般

经 MaxDEA Pro 7.16.0 软件运行整理得出。

绿色发展水平较好的城市有银川和西安,发展一般的有西宁、石嘴山、呼和浩特和郑州,除石嘴山外都是省会城市,同岳立等^[14]的研究一样,省会城市作为该省的经济、政治、文化中心在发展经济的

同时往往更加注重对环境的治理,伴随着发展工业高污染企业逐渐搬离,其绿色发展效率提高。2016年以来石嘴山市以入黄排水为治理重点,在抓好工业废水、城乡污水治理的同时聚力推动农业退水污

染全面治理、全域治理、全程治理,着力改善黄河水质、保护黄河流域生态环境;持续推进多个生态保护和文件,如《石嘴山市典农河流域综合整治方案》《石嘴山市贯彻落实自治区生态环境保护督察反馈意见整改方案》等落实并颇有成效。6个绿色发展水平亟待改进的城市西宁、呼和浩特、包头、西安、运城、济南,在经济发展的同时涌现出很多环

境问题,而先污染后治理发展模式是不可取的,为了谋求多方位全面可持续稳定发展,就要在经济发展的同时兼顾对环境的保护和治理,坚持走绿色低碳的发展路线。

对2020年各省市绿色发展效率进行详细的分析后,发现未达到1.0000的有3种不同的情况(表5)。

表5 黄河流域2020年各省市绿色发展效率评价类型
Table 5 Evaluation types of provinces and cities in Yellow River Basin in 2020

分类	省市	分类依据
第I类	甘肃、宁夏、陕西、山西、兰州、石嘴山、包头、西安、运城、郑州、洛阳、济南、聊城	第一阶段效率<1,第二阶段效率<1
第II类	西宁、银川	第一阶段效率=1,第二阶段效率<1
第III类	青海、内蒙古、呼和浩特	第一阶段效率<1,第二阶段效率=1

第I类省市中石嘴山、西安、郑州在两个阶段效率都小于1的情况下绿色发展反而不处于较低的水平,分别达到了0.7419、0.8022、0.7018,省会城市对于治理环境很重视,石嘴山对生态环境和水资源改善的治理和规划有建设性。第II、III类城市均处于黄河上游,由于黄河上游地区在经济发展的进程中承接了许多高耗能、高污染企业,对其环境造成了很大影响,大都绿色发展水平较低。第II类城市中西宁和银川的第二阶段效率分别是0.6639、0.7202,其总效率为0.7728、0.8308,因此第二阶段效率值会影响城市的绿色发展水平,在第一阶段经济效率上达到DEA有效的基础上该城市就要着重在第二阶段绿色创新效率上增加投入,并促进科技成果的转化。同理,第III类城市在第二阶段效率达到了DEA有效的前提下就要加强第一阶段经济方面的投入以及对于污染物排放的处置和管控。

本文将黄河流域地区2014、2016、2018、2020年9个省份的绿色发展效率用ArcGIS10.6软件进行可视化制图,对其空间格局进行评价(图2)。绿色发展效率值分为0.0000—0.2000、0.2001—0.4000、0.4001—0.6000、0.6001—0.8000、0.8001—1.0000等5类,不同的颜色代表不同的绿色发展水平,其饱和度越高意味着其绿色发展效率越高。

2012年8月31日《中共中央国务院关于促进中部地区崛起的若干意见》发布后,大量的资本、劳动力涌入黄河流域中西部地区,在经济快速增长的同时也带来了一定的环境问题,因此国家于2012年提出要加强生态文明建设,推动了此后黄河流域的环境治理,也正是青海省和宁夏回族自治区绿色发展

效率逐渐上升的原因所在。2014—2020年9个省份最直观的变化就是青海和宁夏的绿色发展效率提高、陕西降低;陕西省2018—2020年来绿色发展水平降低的研究结果同李光勤等^[13]的结论相同,除陕西省绿色发展技术进步下降、生态问题的管控力度不够、环境规制强度不足对其绿色发展效率的影响之外,陕西省追求GDP的提高一定程度上忽略了对生态环境的保护;借鉴四川省和河南省的发展模式就要加强政府的引导以及产业布局、资源配置、企业转型升级等。吴洁等^[3]对长三角地区的绿色发展水平测度中也提到经济实力雄厚、科技发展良好的城市在发展的同时往往有能力和意识主动地提高绿色发展效率,而部分绿色发展效率低下的城市大多是因为追求经济发展而大力发展工业、消耗能源导致绿色发展水平较差。

省份间的时空绿色发展效率格局差异不大,但城市的效率空间变化十分明显;大部分城市的绿色发展水平在2020年提高,呈阶梯式上升趋势,与全流域省份发展相同黄河沿岸城市的绿色发展水平呈现不均衡的分布(图3)。青海和宁夏在2014—2020年绿色发展效率大幅提高,城市西宁、银川、石嘴山效率也都有较快提升,而西安、郑州、济南、聊城的发展效率回落,尤其是聊城的绿色发展效率降幅最大,甚至低于2014年。黄河流域黄河段城市和省份发展一致时就要引领其他城市的发展,不一致时就要重点改善黄河沿岸城市的发展效率,从而使得黄河流域的生态、经济协同发展,提高全流域发展水平。

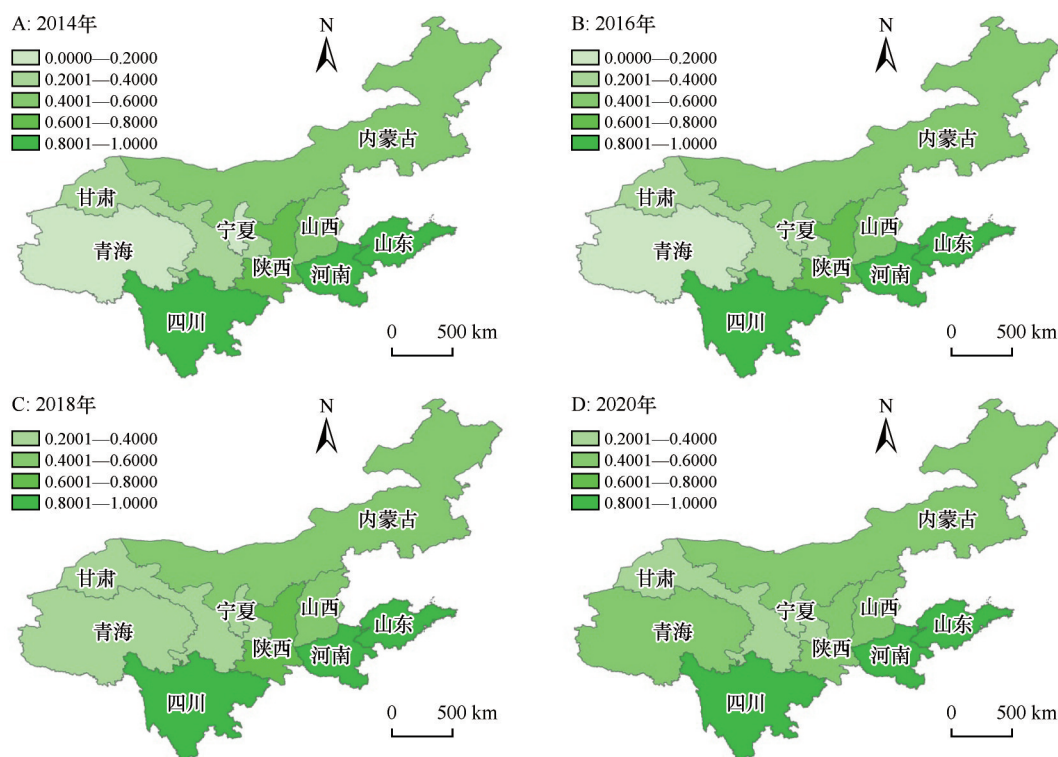


图2 2014—2020年黄河流域省份绿色发展空间格局

Fig.2 Spatial pattern of green development in the Yellow River Basin in 2014–2020

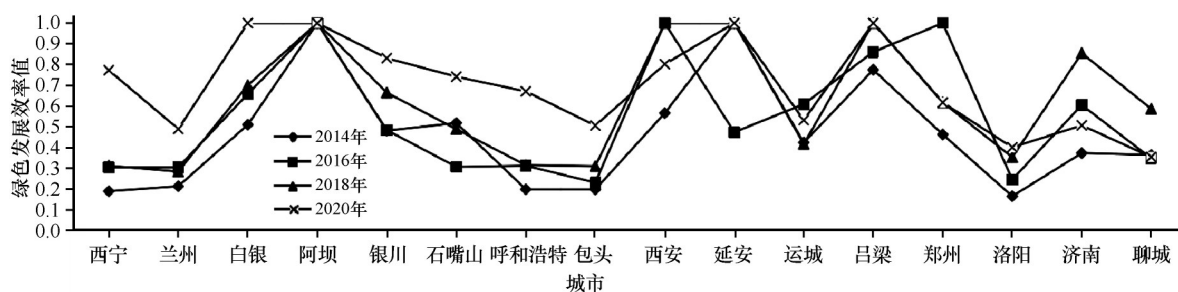


图3 2014—2020年黄河段城市绿色发展效率变化

Fig.3 Dynamic change of urban green development efficiency in Yellow River Reach from 2014 to 2020

3 结论和建议

3.1 结论

从绿色发展效率静态分析结果来看,黄河流域各省市绿色发展效率呈现上游较差、中游一般、下游最好的空间格局,上游省份资源丰富,但产业结构单一、第一产业占比大;中下游省份有着雄厚的经济基础,第一、二、三产业均有涉及,经济发展迅速。除了经济基础以外绿色发展水平与产业结构、科技创新等也是相关的。

从绿色发展效率的动态分析结果来看,黄河流域的绿色发展效率整体上处于进步状态,但绿色发展水平不高。从省域视角来看,黄河流域中部省份

的绿色发展水平处于退步状态;从市域角度来看,大部分城市的绿色发展效率都有所提升。

3.2 建议

在中央政府绿色发展战略指导下,省-市两级政府协同治理,共同促进黄河流域九省区尤其是黄河段城市的绿色发展。黄河流域省份和城市的绿色发展不一致,省域绿色发展效率高但市域发展不好的省份要加大省市协同发展力度,重视对黄河流域沿线城市的环境治理,发挥省级政府引导作用,协同省市的绿色发展。省域绿色发展效率低但黄河段城市绿色发展好的,就要汲取该城市的发展经验,促进全省份的绿色可持续发展。

经济效率高、绿色发展效率相对不高、环境治理存在瓶颈的区域,要注重绿色技术创新,鼓励科技赋能低碳发展。各区域城市要结合发展现状完善创新体系并给予企业财政支持,鼓励企业进行科技创新,促进科技成果的转化,以科技发展驱动黄河流域的绿色发展。政府要构建新型税收政策控制企业污染物的排放及处理;引导高消耗、高污染排放企业实行产业转型以提升黄河流域整体的绿色发展水平。

黄河流域各级政府要合理规划产业布局,加快产业转型升级,同时积极引导新兴战略产业。黄河流域的经济发展以重工业为主,轻工业占比较小,各省市之间产业结构极其相似,不仅无法发挥区域优势,还会加重地区资源压力。规模效率也是阻碍城市绿色发展的重要因素,在未来的经济发展中要提升资源配置,有效组合资源,适当调整城市规模,突破区域限制,开通多渠道绿色发展方式以提升城市的绿色发展效率。

参考文献:

- [1] 黄磊,吴传清.长江经济带城市工业绿色发展效率及其空间驱动机制研究[J].中国人口·资源与环境,2019,29(8):40-49.
- [2] 蔺雪芹,边宇,王岱.京津冀地区工业碳排放效率时空演化特征及影响因素[J].经济地理,2021,41(6):187-195.
- [3] 吴洁,张云,韩露露.长三角城市群绿色发展效率评价研究[J].上海经济研究,2020(11):46-55.
- [4] 向云波,王圣云,邓楚雄.长江经济带化工产业绿色发展效率的空间分异及驱动因素[J].经济地理,2021,41(4):108-117.
- [5] 刘杨,杨建梁,梁媛.中国城市群绿色发展效率评价及均衡特征[J].经济地理,2019,39(2):110-117.
- [6] 谭政,王学义.绿色全要素生产率省际空间学习效应实证[J].中国人口·资源与环境,2016,26(10):17-24.
- [7] 王艳,苏怡.绿色发展视角下中国节能减排效率的影响因素:基于超效率DEA和Tobit模型的实证研究[J].管理评论,2020,32(10):59-71.
- [8] 周亮,车磊,周成虎.中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素[J].地理学报,2019,74(10):2027-2044.
- [9] Huang Z, Liao G, Li Z.Loaning scale and government subsidy for promoting green innovation[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 144: 148-156.
- [10] Lima Silva Borsatto J M, Liboni Amui L B.Green innovation: unfolding the relation with environmental regulations and competitiveness[J].Resources Conservation and Recycling, 2019, 149:445-454.
- [11] 何爱平,安梦天,李雪娇.黄河流域绿色发展效率及其提升路径研究[J].人文杂志,2021(4):32-42.
- [12] 崔盼盼,赵媛,夏四友,等.黄河流域生态环境与高质量发展测度及时空耦合特征[J].经济地理,2020,40(5):49-57.
- [13] 李光勤,方徐兵.黄河流域绿色发展水平时空演变特征[J].中国沙漠,2021,41(4):1-11.
- [14] 岳立,薛丹.黄河流域沿线城市绿色发展效率时空演变及其影响因素[J].资源科学,2020,42(12):2274-2284.
- [15] Zhu Q, Wu J, Li X, et al.China's regional natural resource allocation and utilization: a DEA-based approach in a big data environment[J].Journal of Cleaner Production, 2017, 142: 809-818.
- [16] Sun W, Li Y, Wang D, et al.The efficiencies and their changes of China's resources-based cities employing DEA and Malmquist Index Models[J].Journal of Geographical Sciences, 2012, 22(3):509-520.
- [17] Kao C, Hwang S-N.Multi-period efficiency and Malmquist productivity index in two-stage production systems[J].European Journal of Operational Research, 2014, 232(3):512-521.
- [18] Moon H, Min D.Assessing energy efficiency and the related policy implications for energy-intensive firms in Korea: DEA approach[J].Energy, 2017, 133:23-34.
- [19] 陈瑶.中国区域工业绿色发展效率评估:基于R & D投入视角[J].经济问题,2018(12):77-83.
- [20] 董会忠,韩沉刚.开放与绿色理念下如何提升工业生态效率:基于“污染天堂”假说的验证[J].商业研究,2020(12):75-84.
- [21] 封思洁,张斯琴.黄河流域主要城市绿色发展效率时空分异特征[J].科学与管理,2020,40(6):75-81.
- [22] 郭爱君,张娜,邓金钱.财政纵向失衡、环境治理与绿色发展效率[J].财经科学,2020(12):72-82.
- [23] 黄磊,吴传清.外商投资、环境规制与长江经济带城市绿色发展效率[J].改革,2021(3):94-110.
- [24] 兰梓睿.低碳城市建设对区域绿色发展效率的异质性影响研究[J].现代经济探讨,2021(6):101-110.
- [25] 马彦瑞,刘强.工业集聚对绿色经济效率的作用机理与影响效应研究[J].经济问题探索,2021(7):101-111.
- [26] 冉启英,王健龙,杨小东.财政分权、环境分权与中国绿色发展效率:基于地级市层面的空间杜宾模型研究[J].华东经济管理,2021,35(1):54-65.
- [27] Azapagic A.Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry[J].Journal of Cleaner Production, 2004, 12(6):639-662.
- [28] de Oliveira J A P, Doll C N H, Balaban O, et al.Green economy and governance in cities: assessing good governance in key urban economic processes[J].Journal of Cleaner Production, 2013, 58:138-152.
- [29] Smedby N, Neij L.Experiences in urban governance for sustainability: the constructive dialogue in Swedish municipalities[J].Journal of Cleaner Production, 2013, 50:148-158.
- [30] 张峰,薛惠锋.基于绿色发展的工业全要素水资源效率时空特征[J].资源科学,2021,43(5):964-973.
- [31] Song M, Fisher R, Kwoh Y.Technological challenges of green innovation and sustainable resource management with large scale data[J].Technological Forecasting and Social Change,

2019, 144: 361–368.

[32] Sun H, Edziah B K, Sun C, et al. Institutional quality, green in-

novation and energy efficiency [J]. *Energy Policy*, 2019, 135: 1–14.

Green development efficiency measurement and the spatio-temporal evolution of Yellow River Basin based on a multi-period two-stage DEA model

Zhou Fuli, Hai Panpan, Wang Xueni

(*Industry & Innovation Research Center, College of Economics and Management, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China*)

Abstract: The investigation of green development efficiency and its spatial-temporal evolution is significant to regional industrial layout, environmental regulation and policy making, ecological protection and high-quality development strategy of the Yellow River Basin. In view of the present situation of regional heterogeneous development and unbalanced development of provinces and cities in the Yellow River Basin region, a multi-period two-stage DEA model is formulated to measure green development efficiency considering the two-stage economic development and environmental governance status in China. The green development efficiency is calculated based on the green economic efficiency and green innovation efficiency, and the ArcGIS10.6 soft is employed to display the dynamic spatio-temporal evolution of green development along Yellow River Basin region. Results show that it presents tendency of poor in the upper reaches, average in the middle reaches and optimal in the lower reaches for the Yellow River Basin from spatial dimension. Besides, the overall green development level is average, showing a “W” type fluctuation upward trend. There are still some regions with higher level of green development in provinces but lower level of urban development. Finally, according to the different scenarios in Yellow River Basin, reasonable countermeasures and suggestions are put forward including collaborative governance, government guidance, industrial structure, R & D and tax policy.

Key words: Yellow River Basin; green development efficiency; dynamic spatio-temporal evolution; multi-period two-stage DEA model